



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

KONSTRUKČNÍ NÁVRH KONTEJNERU NA TRANSPORT SYPKÝCH HMOT

DESIGN OF CONTAINER FOR BULK TRANSPORT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MILAN CIHLÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ing. TOMÁŠ LÉTAL

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Milan Cihlář

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukční návrh kontejneru na transport sypkých hmot

v anglickém jazyce:

Design of container for bulk transport

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Základem práce je rozbor problematiky využití kontejnerů v různých odvětvích průmyslu se zaměřením na transport sypkých látek. Z rozboru bude získán základní přehled o geometrii těchto kontejnerů a bude tak možné snáze provést konkrétní návrh geometrie kontejneru. Práce bude mít význam při řešení podaného projektu na téma hranatých kontejnerů.

Cíle bakalářské práce:

1. Rešerše z oblasti využití kontejnerů
2. Návrh konstrukce kontejneru na transport sypkých hmot
3. vytvoření výkresové dokumentace

Seznam odborné literatury:

- [1] ISO 1161 – Kontejnery ISO řady 1
- [2] ČSN 26 9340 – Kontejnery ISO řady 1

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Létal

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 26.10.2010



prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

Anotace

Tato bakalářská práce pojednává o průmyslovém využití kontejnerů ISO, které se podle různého využití rozdělují na jednotlivé typy odlišné svou konstrukcí. Součástí práce je také návrh konstrukce a pevnostní analýza kontejneru typu 1C (kontejner o velikosti 20 stop) používaného na transport sypkých hmot. Pevnostní analýza byla provedena v softwaru Ansys. Při výpočtu byl uvažován pouze zjednodušený teoretický model, který neměl např. uvažovány násypné a vyprazdňovací otvory apod. Ve výsledcích byly pozorovány a vyhodnocovány maximální hodnoty napětí na jednotlivých prvcích.

Abstract

The topic of this work is industrial usage of ISO containers and their classify. Other part is about construction a stress analyses of container type 1C (length is 20 feet) which is used to a bulk transport. The software Ansys was used to stress analyses. In this analyses was used only simply model which don't have filling and emptying aperture etc. In results was controlled maximum stress in the all elements.

Klíčova slova

Kontejner, transportní, sypká hmota, ISO 1, pevnostní analýza

Keywords

Container, transport, bulk, ISO 1, stress analyses

Bibliografická citace

CIHLÁŘ, M. *Konstrukční návrh kontejneru na transport sypkých hmot*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 28 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Léta.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Konstrukční návrh kontejneru na transport sypkých hmot vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a zdrojů uvedených na konci práce.

Datum:

.....

Podpis bakaláře

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomášovi Létalovi za cenné připomínky a rady, zejména při tvorbě a výpočtu konstrukce kontejneru, a za jeho ochotu při konzultaci.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk.....	8
1. Úvod.....	9
1.1. Vymezení pojmu kontejner.....	9
1.2. Základní znaky kontejnerů ISO.....	9
1.3. Výhody kontejnerů ISO.....	9
1.4. Rohové prvky.....	10
1.4.1. Konstrukční zatížení rohových prvků.....	10
2. Základní rozdělení kontejnerů ISO.....	11
2.1. Kontejnery řady 1.....	11
2.2. Kontejnery řady 2.....	12
2.3. Kontejnery řady 3.....	12
2.4. Prodloužené typy současných kontejnerů.....	13
2.5. Další vývoj.....	13
3. Rozdělení kontejnerů ISO řady 1 podle použití.....	14
3.1. Kontejnery pro všeobecné použití (univerzální).....	14
3.2. Kontejnery s otevřenou horní částí (open top).....	14
3.3. Kontejnery pro sypký materiál (bulk).....	15
3.4. Kontejnery plošinové bez čel (platform).....	15
3.5. Kontejnery plošinové se sklopnými čely (flat).....	16
3.6. Uhelné kontejnery (ugel).....	16
3.7. Nádržkové kontejnery (tank).....	16
3.8. Termické kontejnery.....	17
4. Konstrukční návrh a výpočet.....	17
4.1. Popis konstrukce.....	18
4.2. Výpočet napětí.....	20
4.2.1. Transport s podélným zrychlením.....	20
4.2.2. Transport s příčným zrychlením.....	22
4.2.3. Napětí při stohování.....	23
5. Závěr.....	26
Literatura.....	27
Seznam příloh.....	28

Seznam použitých symbolů a zkratk

Symbol	Význam	Jednotka
g	gravitační zrychlení	m.s^{-2}
V_1	objem nádoby	m^3
m_1	celková hmotnost kontejneru s nákladem	kg
m_p	hmotnost prázdného kontejneru	kg
m_u	užitečná hmotnost	kg
ρ_{\max}	max. měrná hmotnost přepravovaného materiálu	kg/m^3
R_e	mez kluzu	MPa
$(\sigma_{eg})_{Pm}$	membránové napětí	MPa
$(\sigma_{eg})_P$	povrchové napětí (membránové a ohybové)	MPa
$(\Delta\sigma_{eg})_{P+Q}$	rozkmit napětí	MPa

1. Úvod

Samotná kontejnerizace vznikla jako potřeba přepravy velkého množství zboží či součástí velkých rozměrů na velké vzdálenosti (i mezi kontinenty), které je potřeba při přepravě chránit před poškozením nebo nepříznivými atmosferickými vlivy. V úplném počátku lze kontejnery považovat za přepravní bedny nejrůznějších tvarů a rozměrů. Z důvodu kompatibility byly rozměry kontejnerů postupem času sjednoceny a přehledně zaznamenány do norem ISO.

1.1. Výmezení pojmu kontejner

Kontejner je standardizovaná přepravní jednotka. V podstatě je to rozměrná, pevná a uzavřená (nebo otevřená) přepravka technicky přizpůsobená stohování do několika vrstev nad sebou. Podle normy ISO 1496-3 [6] může být v jednom stohu maximálně devět kontejnerů, přičemž jeden plně naložený váží 24 000 kg. Nejdříve byly vyvinuty velkoprostorové přepravní bedny (tzv. kontejnery) a později celý kontejnerový dopravní systém se speciálním železničním, silničním, říčním i leteckým dopravním a překládacím zařízením a systémem řízení kontejnerové dopravy. Kontejnery mají pět běžných délek: 20 stop (6,1 m), 40 stop (12,2 m), 45 stop (13,7 m), 48 stop (14,6 m) a 53 stop (16,2 m). Kontejnery posledních dvou rozměrů se nejčastěji využívají v silniční a železniční dopravě v USA, ostatní kontejnery se využívají zejména v námořní dopravě a pozemní dopravě v Evropě.

1.2. Základní znaky kontejnerů ISO

- umožňují vícenásobné stohování;
- mají tzv. rohové prvky, které slouží pro manipulaci s kontejnery. Většina kontejnerů má 4 horní a 4 dolní rohové prvky
- jsou určeny pro mezikontinentální, mezinárodní i vnitrostátní kombinovanou přepravu (námořní, říční, železniční a silniční)
- žádná část kontejneru nepřesahuje jeho celkové vnější rozměry
- jsou konstruovány v soustavě britských délkových měr (v palcích), nikoli v metrické soustavě

1.3. Výhody kontejnerů ISO

- mohou se využít i k dočasnému skladování
- jejich konstrukce umožňuje snadné plnění a vyprazdňování
- není nutné překládání zboží (snížení spotřeby energie při překládce, omezení možnosti poškození zboží, snížení pracnosti)
- optimální využití ložného prostoru

- snížení rizika ztráty přepravovaného zboží
- mají dostatečnou pevnost pro opakované použití

1.4. Rohové prvky

Rohové prvky jsou základem konstrukce každého ISO kontejneru. Bez nich by kontejner postrádal svou funkci při manipulaci a stohování. Kontejnery jsou vybaveny čtyřmi horními a čtyřmi dolními rohovými prvky tvaru kvádru, které mají otvory pro upevnění manipulačních a fixačních zařízení a zároveň tvoří část rámu konstrukce. Vrchní povrch horních rohových prvků musí přesahovat nad vrch kontejneru minimálně o 6 mm. Vrchem kontejneru se rozumí nejvyšší úroveň vrchní části krytu kontejneru. Rohové prvky musí být s rámem konstrukce spojeny svařem (obr. 1). Je také možná náhrada rohové prvku tím, že otvor pro manipulaci je přímo v sloupku rámu (obr. 2). Tento otvor však musí splňovat stejné požadavky jako u rohového prvku.



Obr. 1 Samostatný rohový prvek
(autor M.Cihlar)



Obr. 2 Manipulační otvor v sloupku
(autor M.Cihlar)

1.4.1. Konstrukční zatížení rohových prvků

Jsou zkonstruovány tak, aby snesly následující konstrukční zatížení, které je stanoveno podle normy ISO 1161 [5]. V tomto případě je uvažováno stohování šesti kontejnerů.

Horní rohový prvek: 680 kN

Dolní rohový prvek: 810 kN

Je možné se také setkat se stohy o devíti kontejnerech. V tomto případě je konstrukční zatížení větší a má hodnotu 848 kN (viz norma ISO 1496-3 [6].) Tato síly působí na horní rohový prvek.

2. Základní rozdělení kontejnerů ISO

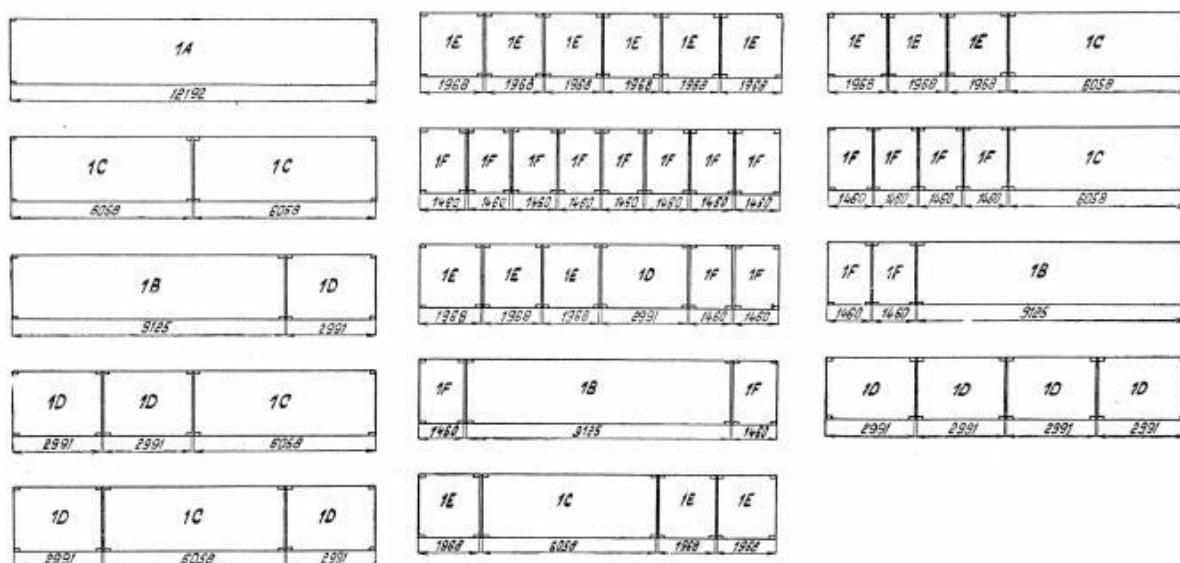
Při počátečním rozvoji kontejnerů bylo třeba jejich rozměry celosvětově normalizovat, tak aby celý dopravní systém bez problémů fungoval. International Organization for Standardization (ISO) z tohoto důvodu vydala rozměrové normy (pravděpodobně na základě již existujících a provozovaných kontejnerů) a podle únosnosti a rozměrů rozdělila kontejnery do následujících tří základních řad, jak udává tabulka 1.

řada 1	kontejnery o celkové hmotnosti od 10 do 30 tun (s výjimkou 1E a 1F)
řada 2	kontejnery o celkové hmotnosti od 5 do 7 tun
řada 3	kontejnery o celkové hmotnosti do 5 tun včetně

Tabulka 1 Rozdělení kontejnerů dle rozměrů a únosnosti [2]

2.1. Kontejnery řady 1

Kontejnery řady 1 měly již ve svých počátcích (na přelomu 60. a 70. let) největší kapacitu a zároveň byly nejrozšířenější (s výjimkou SSSR). Ale i RVHP je již v této době začala považovat za základ budoucího přepravního systému a tím byl jejich celosvětový nástup zajištěn. Původně byly navrženy jednotné příčné rozměry s čtvercovým průřezem o výšce a šířce 2438 mm, ale za nedlouho byl mezi ně zařazen i první ze zvýšených kontejnerů 1AA. Ve všech osmi rozích měly (a stále mají) normalizované rohové prvky a díky jejich konstrukci je možné je stohovat do několika vrstev. Největší možný počet kontejnerů v jednom stohu je devět (viz norma ISO 1496-3 [6]). Délky kontejnerů řady 1 jsou voleny v násobcích základního modulu tak, aby bylo možné kontejnery společně stohovat. Větší kontejner však musí vždy ležet na menších, protože vnější síly se smí přenášet pouze přes rohové prvky. Obr. 3 udává původní představy o možnostech kombinování kontejnerů různých délek při nakládání dopravního prostředku s ložnou délkou 12,2 m (40 stop).



Obr. 3 Možnosti kombinování kontejnerů na dopravním prostředku 12,2 m dlouhého [2]

Rozdělení kontejnerů ISO řady 1 udává tabulka 2.

kontejner	výška		šířka		délka	
	[mm]	[stop]	[mm]	[stop]	[mm]	[stop]
1A	2438	8	2438	8	12192	40
1AA	2591	8,5	2438	8	12192	40
1 AAA	2896	9	2438	8	12192	40
1B	2438	8	2438	8	9125	30
1C	2438	8	2438	8	6058	20*
1CC	2591	8,5	2438	8	6058	20*
1D	2438	8	2438	8	2991	
1E	2438	8	2438	8	1968	
1F	2438	8	2438	8	1460	

Tabulka 2 Rozdělení kontejnerů ISO řady 1 [2]

*) poznámka: dvacetistopé kontejnery ve skutečnosti neměří 20 stop, ale jsou o jeden a půl palce kratší, aby zde byla vůle pro snadné stohování s čtyřicetistopými kontejnery. Údaje v milimetrech jsou uváděny přesně.

2.2. Kontejnery řady 2

Řada 2 byla původně navržena jako skupina kontejnerů střední kapacity s hmotností 5-7 tun. Podle posledních standardů měli hmotnost jednotnou a to 7 tun a také výška u všech tří typů byla stejná – 2100 mm. Jejich rozdělení, rozměry a nosnosti udává tabulka 3

Již počátkem 70. let se očekávalo, že tato řada pravděpodobně zanikne, respektive nebude využívána, protože se kapacitně překrývala s nově zavedenými kontejnery řady 1 (1E a 1F), ale i s kontejnery řady 3. Tyto skutečnosti nakonec vyústily v malou mezinárodní podporu a nikdy nedosáhly velkého rozšíření. V Československu se s jejich používáním vůbec nezačalo.

kontejner	výška [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	maximální brutto hmotnost [kg]
2A	2100	2300	2920	7110
2B	2100	2100	2400	7110
2C	2100	2300	1450	7110

Tabulka 3 Kontejnery ISO řady 2 [2]

2.3. Kontejnery řady 3

U řady 3 (tabulka 4) se předpokládalo, že nahradí přepravní skříně nejrůznějších rozměrů odolnějším a univerzálnějším přepravním prostředkem. Již před vydáním normy na počátku 70. let se tyto kontejnery používali hlavně v SSSR. Ale i v Československu jsme se v této době mohli setkat s dvěma typy kontejnerů přibližně odpovídající této řadě. Postupem času se také tato řada přestala používat.

kontejner	výška [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	maximální brutto hmotnost [kg]
3A	2400	2650	2100	5000
3B	2400	1325	2100	5000
3C	2400	1325	2100	2500

Tabulka 4 Kontejnery ISO řady 3 [2]

2.4. Prodloužené typy současných kontejnerů

Kontejnery těchto velikostí se nejvíce používají v severoamerické vnitrostátní dopravě. Nenakládají se ani na námořní lodě, používají se k přepravě zejména na zmíněném kontinentu. Všechny zde uvedené kontejnery (Tabulka 5) mají stohovací prvky umístěny na stejné rozteči jako běžné čtyřicetistopé kontejnery a mohou se tedy skládat na sebe v libovolném pořadí.

kontejner	délka		výška		šířka	
	[mm]	[stop]	[mm]	[stop]	[mm]	[stop]
45 stop	13716	45	2896	9.5	2438	8
48 stop	14630	48	2896	9.5	2591	8.5
53 stop	16154	53	2896	9.5	2591	8.5

Tabulka 5 Prodloužené typy kontejnerů [2]

2.5. Další vývoj

Systém kontejnerů podle ISO obsahoval velké množství typů kontejnerů, ale skutečný vývoj se ubíral trochu jiným směrem. Na železnicích se méně přepravovaly menší než celovozové zásilky a vhodnějším dopravním prostředkem pro ně byl automobil přiměřené velikosti. Ve většině těchto případů pak bylo zcela zbytečné vozit s sebou navíc těžký kontejner, který splňuje mnohé pevnostní požadavky zejména pro stohování. Z tohoto důvodu malé kontejnery postupně vymizely. Konkrétně se přestaly používat kontejnery řad 2, 3 a malé kontejnery řady 1 (typy 1D, 1E, 1F).

Další vývoj kontejnerů určovala zejména obchodně zdatnější Amerika. Především pak hlavní doménu kontejnerů, námořní dopravu. Největšího rozšíření postupem času dosáhly největší z kontejnerů řady 1, kontejnery typu 1A, včetně své zvýšené verze 1AA a později ještě jednou zvýšené na typ 1AAA. Nejmenší kontejner, který je stále v běžném provozu je typ 1C. Díky poloviční délce vůči kontejneru typu 1A (ale i 1AA, 1AAA), se mohou společně stohovat. Později byla zavedena i zvýšená varianta 1CC. Naopak vymizel typ 1B, dost velký, aby v současné době nešel uplatnění a také komplikoval společné stohování s typy 1A a 1C v terminálech a na lodích.

3. Rozdělení kontejnerů ISO řady 1 podle použití

Je uvedeno pouze rozdělení kontejnerů ISO řady 1, neboť řady 2 a 3 se v současné době nevyrábí a jsou používány pouze ojediněle.

3.1. Kontejnery pro všeobecné použití (univerzální)

Jedná se o nejrozšířenější kontejner (obr. 4), který je plně uzavřený, vodotěsný a také odolný vůči povětrnostním podmínkám. Nejčastěji má jedny čelní dvoukřídlé dveře, ale může mít dvoukřídlé dveře také na jedné, respektive obou bočních stěnách. V horních částech bočních stěn jsou umístěny odvětrávací otvory. Tento typ kontejneru se nejčastěji využívá pro přepravu i skladování kusového baleného i nebaleného zboží, polotovarů, surovin. Zboží se může ukládat volně ložené, na paletách nebo ve svazcích, ale musí být dodrženo rovnoměrné rozložení nákladu z hlediska nosnosti kontejneru. Zboží musí být zajištěno, nebo uloženo, tak aby nedocházelo k jeho pohybu nebo přesypávání apod.



Obr. 4 Univerzální jednodveřový kontejner [3]

3.2. Kontejnery s otevřenou horní částí (open top)

Standartně se vyrábějí v délkách 20 stop a 40 stop. Jejich konstrukce je podobná jako u univerzálních kontejnerů s tím rozdílem, že mají odnímatelnou střechu. Střecha je nejčastěji tvořena plachtou, která je upevněna ke konstrukci kontejneru pomocí ocelového lana. Používají se především k přepravě a skladování sypkých substrátů, např. obilovin, potravinářských a chemických látek. Ale mohou být využívány i k přepravě velkých kusových předmětů, které není možné naložit do univerzálního kontejneru. U otevřených kontejnerů se využije odnímatelná horní stěna, kterou se daný velký předmět naloží. Mezi tyto předměty se řadí např. turbíny, kompresory, čerpadla, motory apod.)

3.3. Kontejnery pro sypký materiál (bulk)

Vyrábějí se jako dvacetistopé. Jejich konstrukce (obr. 5) vychází z univerzálního kontejneru, ve střeše však mají navíc nejčastěji tři otvory pro násyp materiálu. Tyto otvory mohou mít kruhový, čtvercový nebo obdélníkový průřez a jsou opatřeny pryžovým těsněním. Jedna z čelních stěn je z pravidla opatřena dvojkřídlými dveřmi klasické konstrukce. Na druhé čelní stěně je v dolní části výsypná klapka s tyčovým uzávěrem. Tento typ kontejneru se používá především pro přepravu a skladování sypkých, zrnitých, volně ložených substrátů, které je nutné chránit před nepříznivými atmosférickými vlivy. Jedná se např. o obilí, granule, slad či šrot.



Obr. 5 Kontejner pro transport sypkých hmot [3]

3.4. Kontejnery plošinové bez čel (platform)

Jsou vyráběny v rozměrech 20 i 40 stop. Skládají se pouze z plošinového spodku (obr. 6), který má příčný spoj mezi rohovými prvky. V podlaze se nacházejí otvory pro klanice. Používají se pro přepravu a skladování zboží, které nepodléhá nepříznivým povětrnostním podmínkám. Přepravované zboží bývá kusové velké hmotnosti nebo jsou přepravovány svazky, profily, tyčoviny a stavebniny.



Obr. 6 Kontejner plošinový [3]

3.5. Kontejnery plošinové se sklopnými čeli (flat)

Vyrábějí se v rozměrech 20 a 40 stop. Jejich základ tvoří plošinový spodek. Dají se sklápat obě čelní stěny (obr. 7). Podlaha v místě bočních stěn má otvory pro klanice. Jejich výhodou je, že pro přepravu prázdných kontejnerů lze složit, přičemž pět složených kontejnerů flat zaujímá výšku přibližně jednoho univerzálního kontejneru. Může být využíván jako součástí ubytovacích jednotek, skladů (materiálu, náradí, apod.), dílen nebo jednotek pro zdravotnické zařízení, atd.



Obr. 7 Kontejner plošinový se sklopnými čeli [3]

3.6. Uhelové kontejnery (ugel)

Vyrábí se pouze o velikosti 20 stop. Jejich konstrukce vychází z kontejneru bulk, oproti kterým nemají střechu. Naplňování kontejneru je horní a vyprazdňování se provádí pomocí vyprazdňovací klapky. Pro zpevnění kontejneru, aby nedošlo k deformaci stěn při plnění, jsou horní podélné nosníky propojeny příčnicí. Používají se pro přepravu a skladování uhlí, koksu, šterku, škváry a písku.

3.7. Nádržkové kontejnery (tank)

Vyrábějí se také pouze dvacetistopé. Hlavní část tvoří vodorovně uložená válcová tlaková nádoba (obr. 8). K nasypání substrátu slouží plnicí hrdlo, kterým se pomocí hadic naplňuje nádoba. Vyprazdňování je pneumatické pomocí přetlaku nebo gravitační. Přepravovanou nebo skladovanou surovinou jsou volně ložené substráty, jako je např. cement, vápno či kaolin. Je možné v nich také přepravovat stlačené plyny a kapaliny těchto druhů: ropa, nafta, kyseliny apod. Z hlediska své vybavenosti a konstrukce jsou velmi složité. S tím je spojena jejich vysoká provozní cena. Další nevýhodou těchto kontejnerů nastává při změně přepravovaného substrátu, kdy je potřeba kontejner důkladně vyčistit.



Obr 8 Nádržkový kontejner [3]

3.8. Termické kontejnery

Vyrábí se ve dvaceti a čtyřicetistopých velikostech. Jejich konstrukce vychází z univerzálních kontejnerů (mají podlahu, stěny, střechu a dveře). Na rozdíl od nich jsou vyrobeny z materiálu mající vlastnost tepelné izolace nebo všechny jejich části jsou opatřeny tepelnou izolací (lze tak snadno předělat univerzální kontejner na termický).

Rozdělují se do následujících skupin:

- Izolované kontejnery - nemají zařízení pro chlazení či vyhřívání
- Chladicí kontejnery s rozpínavým chladivem – zdrojem chladu je zkapalněný plyn (dusík, oxid uhličitý)
- Chladicí kontejnery s kompresorovým chladícím systémem
- Vyhřívací kontejnery – mají vyhřívací zařízení, které udržuje teplotu uvnitř kontejneru nad 0°C

Termické kontejnery (chladicí a izolované) se využívají k přepravě a krátkodobému skladování zmrazeného nebo vychlazeného zboží, např. maso, ryby, zelenina, ovoce, mléčné výrobky nebo květiny. Naopak vyhřívané kontejnery slouží k ochraně zboží před účinky mrazu.

4. Konstrukční návrh a výpočet

V této práci je řešen kontejner na transport sypkých hmot s odlišnou konstrukcí oproti kontejneru bulk (viz odstavec 3.3), tak aby v něm bylo možné transportovat sypké hmoty o větší měrné hmotnosti. Velikost kontejneru byla zvolena 20 stop (typ 1C) a maximální hmotnost plně naloženého kontejneru 30 480 kg. Bylo důležité docílit toho, aby prázdný kontejner měl co nejmenší hmotnost. Čím je hmotnost prázdného kontejneru menší, tím větší může být hmotnost přepravovaného materiálu, o čemž pojednávají následující výpočty.

Objem nádoby (odečteno z programu Inventor)

$$V_1 = 22\,971 \text{ m}^3$$

Celková dovolená hmotnost kontejneru s nákladem [3]

$$m_1 = 30\,480 \text{ kg}$$

Hmotnost prázdného kontejneru (odečteno z programu Ansys)

$$m_p = 3\,650 \text{ kg}$$

Užitečná hmotnost (hmotnost materiálu)

$$m_u = m_1 - m_p = 30\,480 - 3\,650 = 26\,830 \text{ kg}$$

Maximální měrná hmotnost přepravovaného materiálu

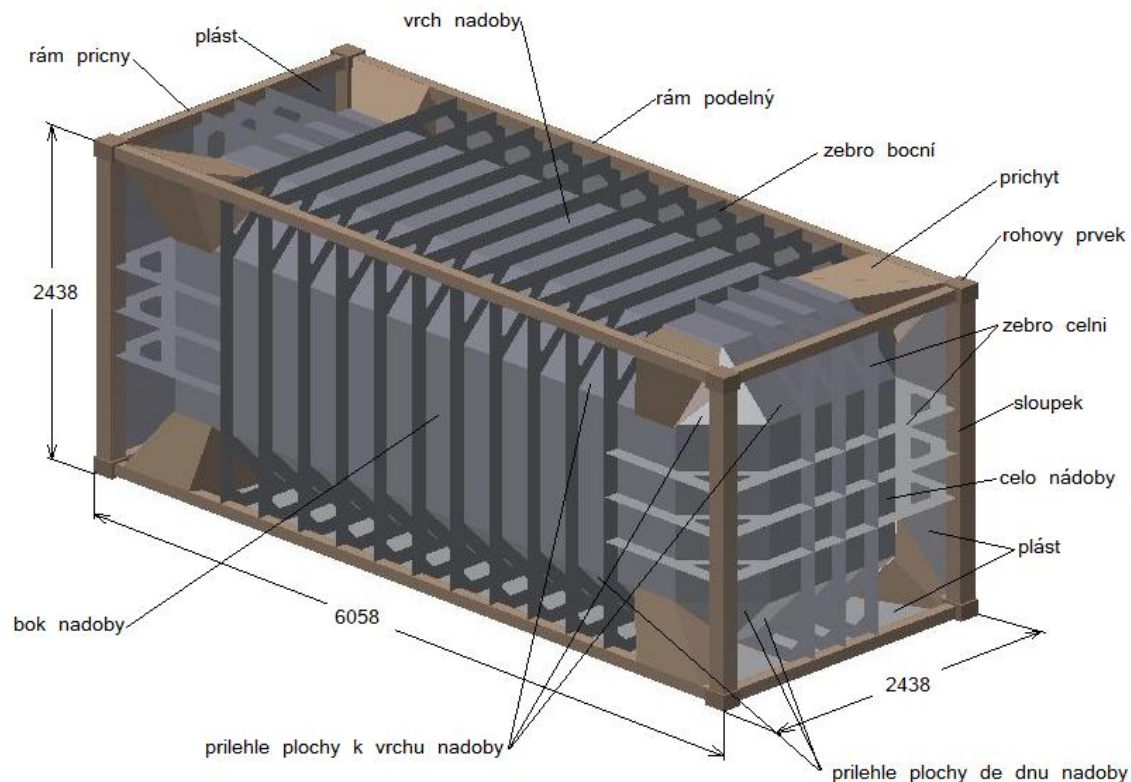
$$\rho_{\max} = m_u / V_1 = 26\,830 / 22\,971 = 1\,168 \text{ kg / m}^3$$

Výpočet byl proveden v programu Ansys, který je založen na metodě konečných prvků. Výhodou tohoto výpočtu je viditelné rozložení napětí po celé konstrukci a možnost určení nebezpečných a předimenzovaných míst. Na základě analýz je pak možné navrhnout potřebné úpravy. Ve výpočtu je uvažován zjednodušený skořepinový model, který představuje prvotní návrh konstrukce. Výhodou tohoto modelu je rychlost výpočtu. Jsou zanedbány určité z globálního pevnostního hlediska nepodstatné (z funkčního hlediska však nezbytné) prvky (např. násypné otvory a výsypaná klapka). Předmětem práce nejsou konstrukční detaily

4.1. Popis konstrukce

Rám konstrukce je tvořen z uzavřených ocelových profilů (jäcklů), které jsou pevně spojeny k rohovým prvkům pomocí svarů. Z důvodu odlišného namáhání jsou svislé části rámu jiného průřezu než vodorovné části rámu. Svislé části (sloupky) jsou z čtvercového profilu TR 4HR 150 x 8 a vodorovné části rámu (jak příčné tak i podélné) ze čtvercového profilu TR 4HR 90 x 3. Tvar a rozměry rohových prvků jsou normalizovány podle ISO 1161 [5].

K rámu konstrukce je pomocí přichytů upevněna samotná nádoba, ve které je uložen materiál. Přichyty jsou svařeny z plechu o tloušťce 3 mm a na jejich tělesové úhlopříčce je žebro tloušťky 1,5 mm sloužící jako výztuha nádoby. Nádoba je z důvodu odlehčení tvořena plechy o různé tloušťce. Dolní části nádoby (dno a k němu přilehlé plochy) mají tloušťku 4 mm. Boční stěny nádoby jsou tvořeny z plechu o tloušťce 3,5 mm a plechy na čelech mají tloušťku 3 mm, neboť čelní stěna má menší plochu než boční a nevzniká tedy tak vysoké napětí. Vrch nádoby a k němu přilehlé plochy, kromě rohových ploch (mají tloušťku 3,5 mm), jsou tvořeny z plechu o tloušťce 3 mm. Rohové plochy mají větší tloušťku než vrch nádoby, protože na nich není umístěna žádná výztuha či žebro a přidáním 0,5 mm tloušťky na tak malé plochy hmotnost celé konstrukce výrazně nezvýší. Jednotlivé prvky jsou znázorněny na obr. 9.



Obr. 9 model kontejneru

Důležitou součástí celé konstrukce jsou žebra na vnější straně nádoby (jak boční tak i čelní). V prvotním návrhu byla žebra upevněna pouze k rámu konstrukce. Tento konstrukční návrh nebyl příliš efektivní, neboť tloušťka stěn nádoby i žebra byla výrazně větší než předkládaném návrhu. Mnohem lepším řešením se ukázalo přidání vnějšího pláště, se kterým jsou žebra spojena. Tento konstrukční návrh vlivem vyššího kvadratického momentu způsobuje mnohem menší vznik napětí na nádobě i samotných žebrech. Zároveň vnější plášť plní funkci ochranou a dá se říci, že i estetickou. U žebra je také důležitý jejich počet. Analýzou výsledků z napěťového výpočtu se ukázalo vhodnější použití více žebra. Toto řešení má nejen pozitivní vliv na napěťovou charakteristiku, ale také na hmotnost konstrukce. Aby napětí na stěnách nádoby bylo srovnatelné u konstrukčního řešení s více žebry, jako u návrhu s menším počtem žebra, musela by jejich tloušťka být větší. V celkovém součtu hmotností žebra má menší hmotnost návrh o větším počtu žebra s jejich menší tloušťkou. Proto je tento návrh pro konstrukci kontejneru zvolen. Čelní žebra mají tloušťku 1,5 mm a boční 2 mm. Z důvodu snížení hmotnosti žebra, byly poblíž přichycení k rámu zhotoveny odlehčovací otvory. Tento otvor nesnižuje výrazně tuhost žebra. Vnější plášť je navržen z plechu o tloušťce 2 mm. Z hlediska vzniklého napětí by bylo možné plášť zhotovit ještě tenčí. Hrozilo by však jeho promáčknutí a s tím související zhroutení stability.

Pro znázornění základních rozměrů a rozmístění jednotlivých prvků je přiložen výkres sestavy.

4.2. Výpočet napětí

Pro výpočet napětí byl vytvořen zjednodušený model kontejneru. Rohové prvky jsou tvořeny pouze kvádrem bez otvorů. Tento prvek je normalizovaný a není tedy nezbytně nutné se zabývat jeho výpočtem. Dále v modelu nejsou uvažovány násypné otvory a výsypná klapka nebo jiné zařízení pro vyprazdňování kontejneru. Zjednodušený model tedy slouží pro získání představy o základní geometrii těchto kontejnerů.

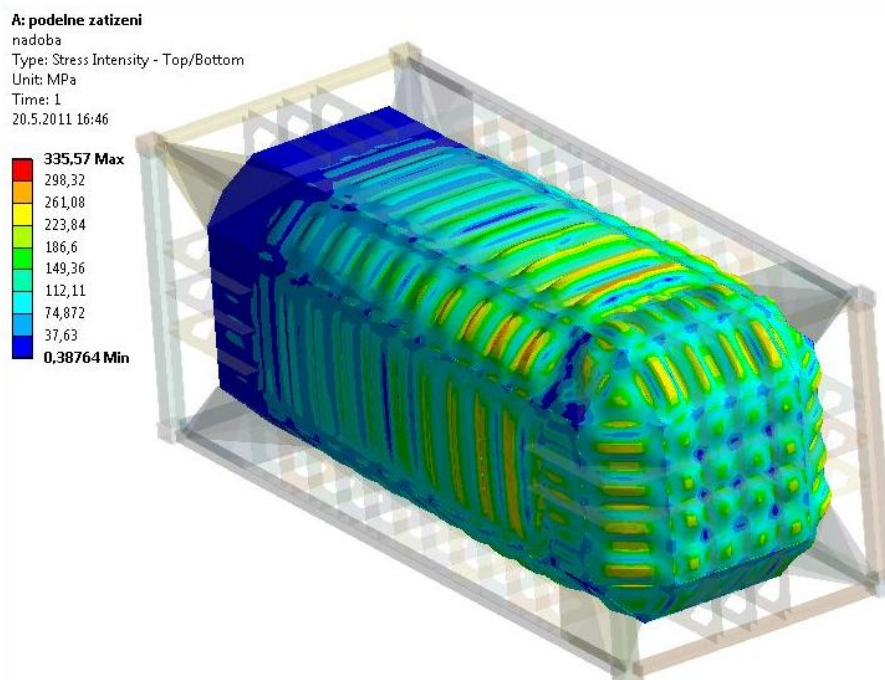
Pro vyhodnocování výsledků je uvažován materiál 13 221 s obsahem uhlíku 0,15 až 0,20 %. Kromě uhlíku obsahuje ocel tyto přísadové prvky: mangan, nikl, vanad a dusík. Materiál byl vybrán také s ohledem na předpokládané použití kontejneru za nízkých teplot. Svařitelnost je zaručená a vrubová houževnatost zaručena do -40 °C. Tento materiál se používá na ocelové konstrukce a svařované tlakové nádoby. Mez pevnosti je 590 až 740 MPa a mez kluzu 430 až 440 MPa (podle druhu polotovaru). Z meze kluzu se vypočítá hodnota $f_d = R_e / 1,5 = 430 / 1,5 = 286,7$ MPa. Dále se srovnávají maximální napětí z výpočtové analýzy v Ansysu podle příslušných vztahů v kontrolách 1–3 (dle ČSN EN 13 445-3).

1. Kontrola - kategorie napětí $(\sigma_{eg})Pm$ – membránové napětí.
 $(\sigma_{eg})Pm \leq f$, kde $f = f_d$
2. Kontrola - kategorie napětí $(\sigma_{eg})P$ – membránové a ohybové napětí
= povrchové napětí
 $(\sigma_{eg})P \leq 1,5f$, kde $f = f_d$
3. Kontrola – kategorie napětí $(\Delta\sigma_{eg})P+Q$ – rozkmit napětí, větší z rozdílů membránových nebo povrchových napětí v místě kontaktu skořepin
 $(\Delta\sigma_{eg})P+Q \leq 3f$, kde $f = f_d$

Při výpočtu se zabýváme třemi stavy, ve kterých je kontejner zatěžován. Jedná se o transport s podélným přetížením, transport s příčným přetížením a stohování. Ve všech těchto situacích je uvažována sypká hmota o měrné hmotnosti 1 150 kg/m³. Jelikož uvažujeme zjednodušený model, můžeme sypkou hmotu považovat za kapalinu, která vyvolá uvnitř nádoby hydrostatický tlak.

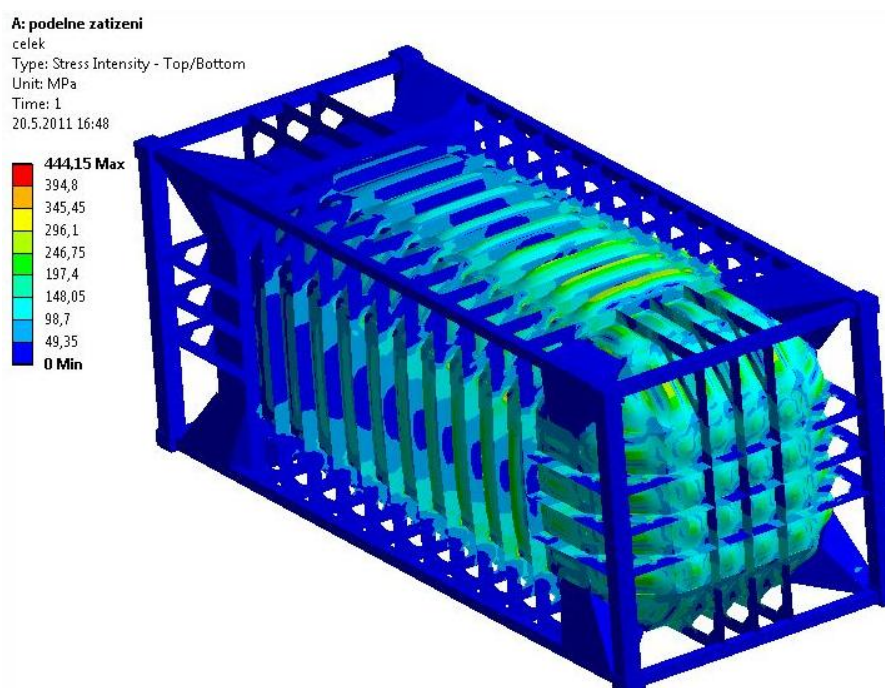
4.2.1 Transport s podélným zrychlením

V této modolové situaci je uvažováno zrychlení 2g v podélném směru (v ose Y) a 1g ve svislém (v ose Z). Tato situace je nejnáročnější částí výpočtu. Je sledováno především napětí na nádobě (obr. 10). Největší místní napětí je 335,57 MPa což je pro uvažovanou ocel přijatelné. Kontejner je nutné uvažovat jako symetrický, ačkoliv na jednom z čel je napětí velmi malé. Při transportu může být kontejner otočen o 180° a napětí by se tak přesunulo na druhé čelo.

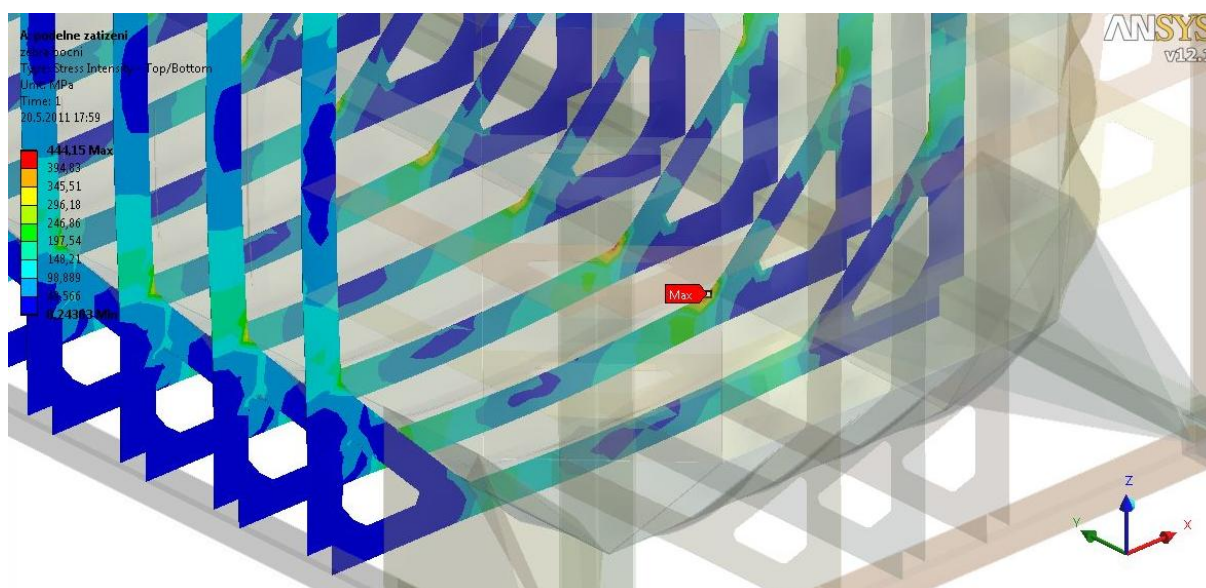


Obr. 10 Napětí na nádobě (23x zvětšená deformace)

Při vyhodnocování napětí na kontejneru jako celku (obr. 11) je největší napětí 444,15 MPa. Obrázek je pro praktičnost bez vnějšího pláště, na kterém je maximální napětí 88,951 MPa. Napětí 444,15 MPa se nachází na bočních žebrech (obr. 12). Napětí v tomto kritickém místě je možné snížit zvětšením zaoblením. Stejný problém je i u čelních žebrek, napětí dosahuje hodnoty nižší a to 412,3 MPa. Toto kritické místo se nachází na místě odlehčení žebrek. Opět je možné napětí snížit zvětšením zaoblením, případně jiným tvarem otvoru pro odlehčení. Ostatní části konstrukce nejsou při tomto výpočtu výrazně zatěžovány.



Obr. 11 Napětí na celém kontejneru (23x zvětšená deformace)



Obr. 12. Napětí na bočních žebrech (23x zvětšená deformace)

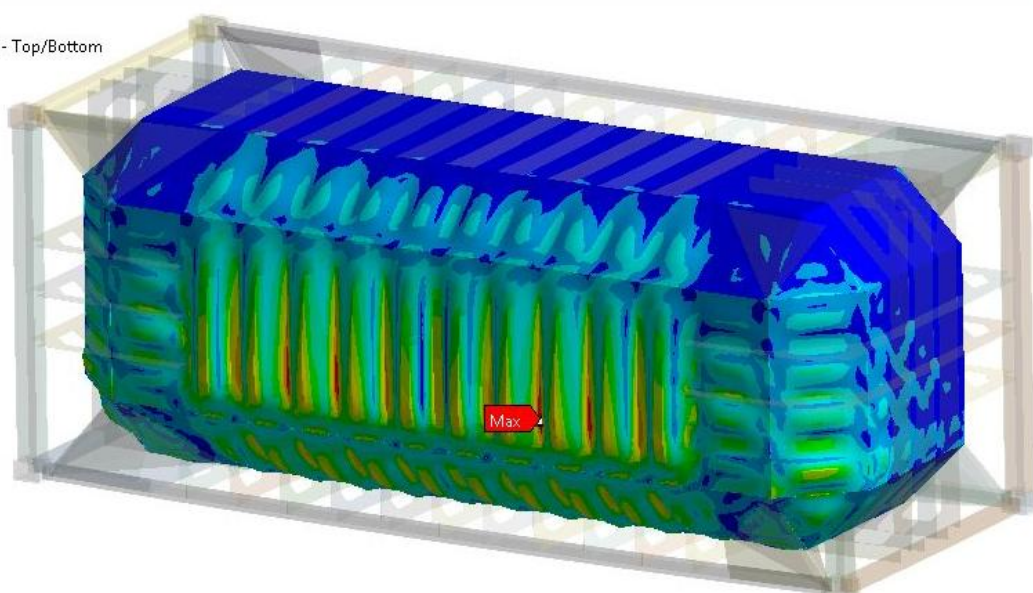
4.2.2. Transport s příčným zrychlením

V této modelové situaci je uvažováno zrychlení 1g v příčném směru (osa X) a 1g ve svislém směru (osa Z). Oproti předchozí situaci jsou napětí na všech prvcích výrazně menší. Maximální napětí 105,39 MPa se nachází na čelních žebrech v místě odlehčení. Návrh na snížení tohoto napětí je popsán v odstavci 4.2.1. Je možné předpokládat, že toto napětí výrazně klesne a největší napětí bude na boční stěně nádoby (obr. 13). Hodnota tohoto napětí je pouhých 63,031 MPa, což je oproti případu s podélným zatížením hodnota cca 5x menší.

Podle těchto výsledků se dá říct, že hlavní podíl na namáhání konstrukce, zejména nádoby, má zrychlení (o velikosti 2g) v podélném směru.

B: příčné zatížení
 nádoba
 Type: Stress Intensity - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1
 21.5.2011 12:07

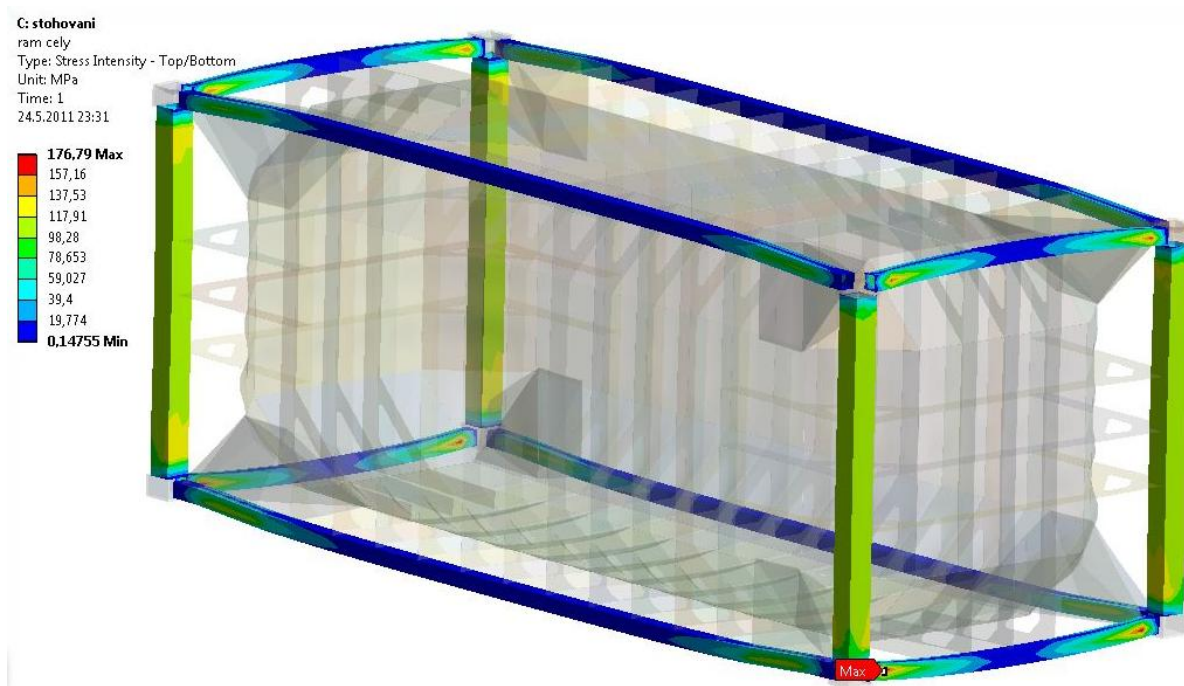
63,031 Max
 56,051
 49,07
 42,089
 35,109
 28,128
 21,148
 14,167
 7,1863
0,20563 Min



Obr. 13. Napětí na nádobě (120x zvětšená deformace)

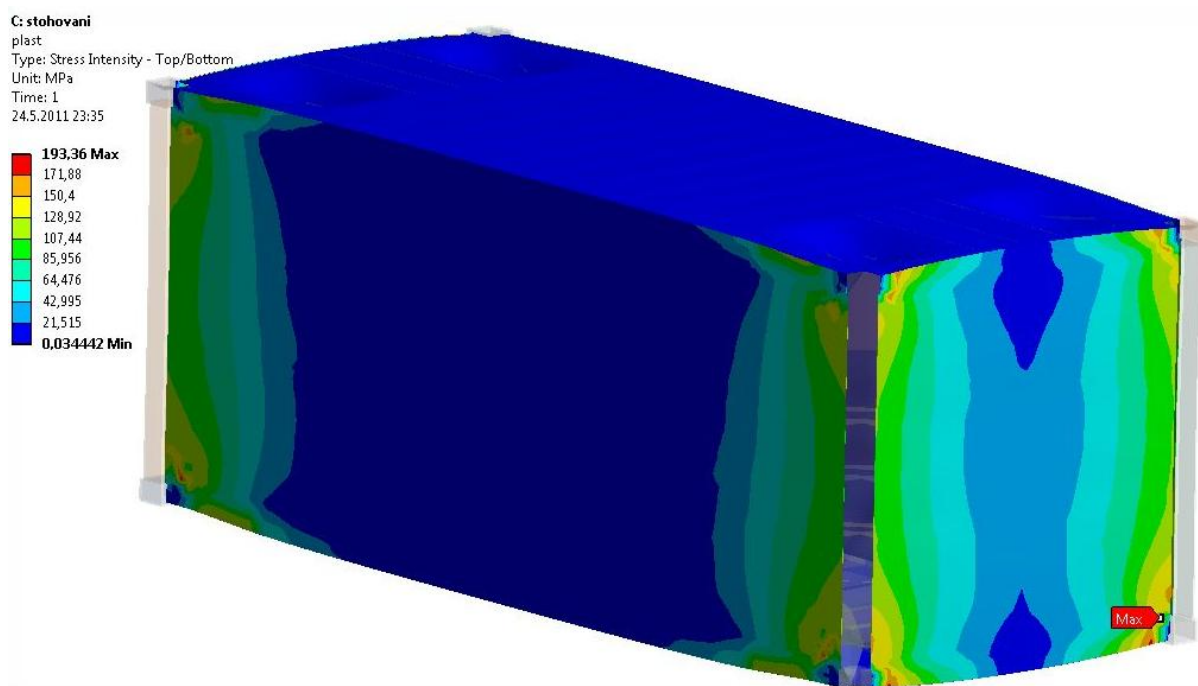
4.2.3. Napětí při stohování

Navrhovaná geometrie je testována pro zatížení čtyřmi silami o velikosti 848 kN (viz norma ISO 1496-3 [6]). Tyto síly jsou v uvedené normě uvažovány pro stohování devíti kontejnerů, z nichž každý má plně naložený hmotnost 24 000 kg. Navrhovaný kontejner má však hmotnost 30 480 kg z důvodu větší hmotnosti přepravovaného zboží. Je tedy nutné přizpůsobit uvažovaný počet kontejnerů ve stohu tak, aby stohovací síly byly přibližně stejné (spodní kontejner by měl nést zhruba stejnou hmotnost jako lehčí kontejner stohovaný v 9 vrstvách). Za těchto podmínek je možné na sebe stohovat sedm kontejnerů o hmotnosti 30 480 kg. Je také možné ve stohu kombinovat kontejnery o různých hmotnostech (spodní kontejner ve stohu bude mít hmotnost 30 480 kg a na něm bude osm kontejnerů o hmotnosti 24 000 kg). Působistě sil se nachází na horní ploše horních rohových prvků. Dále je uvažováno zrychlení ve svislém směru o velikosti 1,8g [6]. Při stohování je sledováno napětí zejména na rohových prvcích, sloupcích, rámu a plášti kontejneru. Oproti předchozím modelům je také větší napětí na příchyttech nádoby a jejich výztuhách. Rohové prvky jsou normalizované a není tedy nutné se zabývat jejich konstrukcí. Větší napětí na uvedených prvcích způsobují stohovací síly a uvažované přetížení. Na rámu konstrukce (obr. 14) je největší napětí 176,79 MPa v místě dolního příčného profilu.

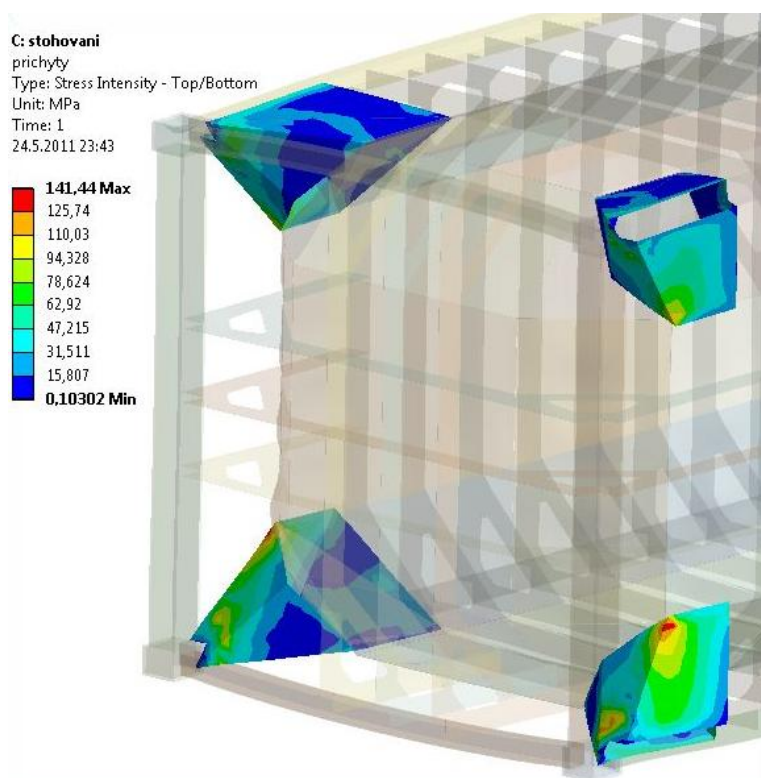


Obr. 14 Napětí na rámu (92x zvětšená deformace)

Největší napětí na plášti kontejneru (obr. 15) je iniciováno v dolních rozích na čelní stěně a má hodnotu 193,36 MPa. Déle bylo sledováno napětí na příchyttech (obr. 16) nádoby k rámu konstrukce, které má maximální velikost 143,44 MPa. Na výztuhách (umístěny uvnitř příchytů na jejich tělesové úhlopříčce) se největší napětí nachází na jedné ze špiček a dosahuje hodnoty 195,96 MPa (obr. 17). Toto napětí je možné snížit například sražením špičky.

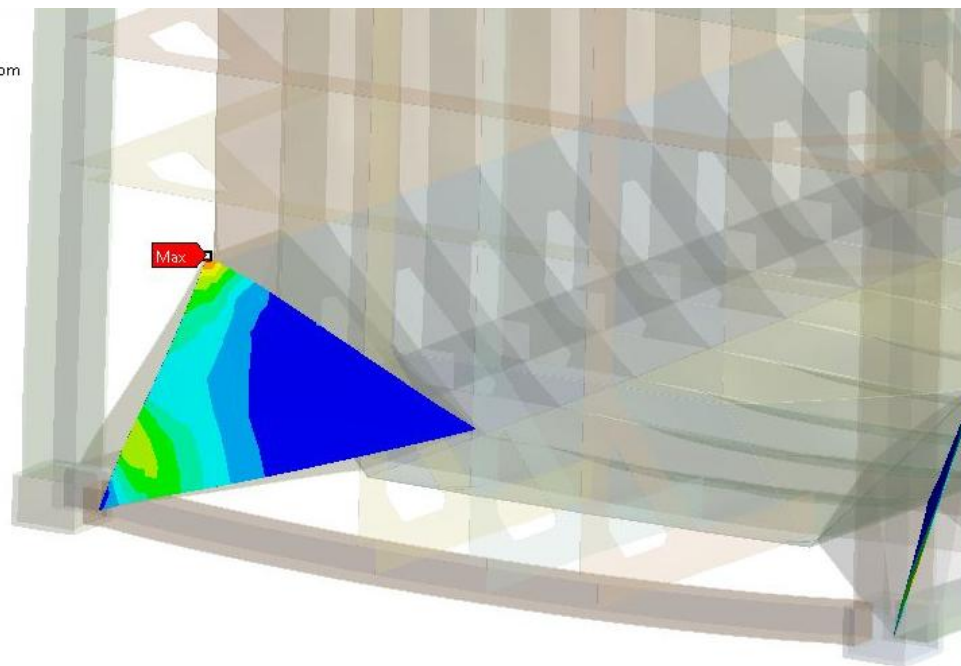
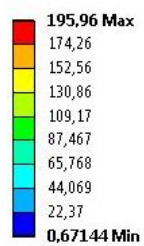


Obr. 15 Napětí na plášti (80x zvětšená deformace)



Obr. 16 Napětí na příchycích (80x zvětšená deformace)

C: stohovani
výztuhy
Type: Stress Intensity - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1
24.5.2011 23:38



Obr. 17 Napětí na výztuhách (80x zvětšená deformace)

5. Závěr

Zpráva pojednává o základním rozdělení kontenerů podle ISO a podle jejich použití. Každý kontejner je stručně popsán z hlediska konstrukce a přepravovaného materiálu. Uvedené druhy kontejnerů jsou nejčastěji zhotoveny o velikosti 20 stop.

Dalším cílem práce byl konstrukční návrh kontejneru na transport sypkých hmot. Konstrukce byla vyhodnocována podle nejnáročnějších testů, které kontejner musí před uvedením do provozu splňovat. Jedná se o testy podélné a příčné tuhosti a o test stohování. K simulaci zátěžových testů byl použit software Ansys. V těchto modelech byla uvažována sypká hmota uvnitř nádoby o hustotě 1150 kg/m^3 . Jedná se o hraniční hodnotu. V praxi by měl být kontejner kvůli bezpečnosti naložen sypkou hmotou o menší měrné hmotnosti. Předkládaný návrh je možné dále vylepšovat, například zidealizovat odlehčení žeber nebo jejich část, kterou jsou přivařeny k rámu konstrukce zcela vypustit, neboť tato část je vcelku předimenzovaná. Žebra by tak byla připevněna jen k nádobě a vnějšímu plášti. Dalším důležitým vylepšením by bylo zvětšení vnitřní nádoby. Se zvětšováním nádoby by se zužovala žebra, ale do takové míry, aby byla zachována jejich funkce dostatečného kvadratického momentu. Se zúžováním žeber by kvadratický moment klesal a zvětšovalo by se napětí na nádobě. Jako důsledek tohoto napětí by se musela zvětšit tloušťka stěn nádoby, což by znamenalo zvýšení hmotnosti prázdného kontejneru.

Předkládaný návrh je pouze prvotní a nejsou u něho řešeny konstrukční detaily. Návrh dává představu o základní geometrii kontejneru, mezi kterou můžeme řadit následující prvky: nádoba, rám konstrukce, sloupky, čelní a boční žebra a příchytý nádoby k rámu. Je nutné podotknout, že kontejner v tomto prvotním návrhu nelze považovat za funkční. Aby byl kontejner funkční musel by být stávající návrh doplněn například o násypné otvory a klapku k vyprazdňování. Tyto prvky by musely splňovat pevnostní požadavky kontejneru. Pro lepší manipulovatelnost by bylo dobré uvažovat otvory pro vidlice vysokozdvížného vozíku.

Literatura

- [1] *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 6.12.2010 [cit. 2011-04-28]. Kontejnerizace. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kontejnerizace>>.
- [2] *Litomyský* [online]. 2001 [cit. 2011-03-15]. Rozměry. Dostupné z WWW: <<http://www.litomysky.cz/drahy/kontrozm.htm#ISO>>.
- [3] *CARU GROUP containers : CARU PRAHA containers* [online]. 2005 [cit. 2011-05-05]. Výrobky. Dostupné z WWW: <<http://carucontainers.com/cz/cz/vyrobky>>.
- [4] PROF. ING. HLAVENKA, CSC., Bohumil. *Manipulace s materiálem*. Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2008. Kontejnerizace, s. 43-44.
- [5] ČSN 26 9344 - ISO 1161. *Kontenery ISO řady 1 : Rohové prvky*. Praha : Vydavatelství norem, 8.5.1991. 28 s
- [6] ISO 1496-3. *Series 1 Freight Containers - Specification and Testing*. Switzerland : International Organization for Standardization, 1995-03-01. 31 s.

Seznam příloh

Tištěné přílohy – výkres sestavy formátu A2

DVD – elektronická verze bakalářské práce, výkres sestavy, model kontejneru, výsledky analýz, kategorizace napětí (výňatek z normy CSN EN 13445-3)